

Bul. Agron. (33) (3) 24 – 32 (2005)

Indeterminasi Sekuensial Pembungaan dan Ketidakmampuan Produksi Kedelai di Lapangan Akibat Penambahan Cahaya Kontinu pada Kondisi Terbuka dan Ternaungi

Indeterminate flowering sequence and field production failure of soybean due to additional continuous light at open and shaded condition

Herdhata Agusta^{1*} dan Imam Santosa²

Diterima 31 Maret 2005/Disetujui 24 Oktober 2005

ABSTRACT

Additional continuous light (photoperiod of 24 hours/day) with irradiation value of 0.61 cal/cm²/minute and illumination value of 59 lux was able to suppress the development of flowering, pod building, grain filling and the production of soybean variety Bromo, so that the sum of flowers, pods and grain production dropped and reached to null value. However, the plant height increased with remarkable measurement from normally 78.0 cm to be 193.2 cm. At the later condition the plant lodged and crept. Due to additional continuous light irradiation at value of 0.03 cal/cm²/minute with average illumination value of 17 lux, the grain production was still null ton/ha. However, the formed flowers and pods were not well developed.

At very little additional continuous light irradiation at the value of 0.01 cal/cm²/minute with illumination value of 2 lux, soybean production reached only 0.72 tons/ha, which at the normal condition it was able to produce grain legumes in amount to 1.53 tons/ha. Light shading at the level of 56% could not improve the negative effect of the additional continuous light excess, so that the grain production was not much better. However, grain production was either not reduced significantly due to the light shading. It showed that the soybean is well tolerant against the shading treatment at this additional light condition.

Key words : light, shading, soybean, air carbon dioxide, photoperiod

PENDAHULUAN

Pada tanaman legum, kapasitas penyimpanan hasil fotosintat sangat ditentukan oleh respon tanaman terhadap lingkungan untuk proses pengisian biji. Berbagai perbaikan tanaman untuk memperbaiki respon dan karakteristik vegetatif tanaman sangat bervariasi dan tidak selalu berbanding lurus dengan produktivitas biji. Stres lingkungan mempengaruhi pembentukan biji kering pada beberapa fase perkembangan tanaman dan jaringan yang berkaitan dengan saat episode stres tersebut. Stres tanaman menjelang dan saat proses pembungaan sangat menentukan produksi biji kering. Penurunan intersepsi cahaya sebesar 22% pada saat akhir vegetatif hingga awal reproduktif menekan hasil biji sebesar 23% (Singer, 2001). Sedangkan sebaliknya dengan penambahan cahaya sebesar 25% mulai akhir vegetatif dapat meningkatkan hasil sebesar 144 - 252%,

yang mana hal ini terutama berhubungan dengan meningkatnya jumlah polong per tanaman (Matthew *et al.*, 2000).

Pada pertumbuhan fase vegetatif tanaman kedelai, faktor kualitas dan kuantitas cahaya dapat mempengaruhi ukuran panjang, diameter batang dan kepadatan batang. Tanpa meninjau pengaruhnya terhadap fotosintesis, kedua faktor tersebut mempengaruhi perkembangan dan morfologi tanaman yang disebut dengan istilah fotomorfogenesis. Sebagai contoh, pada suatu kapasitas fotosintesa yang sama, bagian batang yang menerima cahaya lebih banyak akan mengalami pertumbuhan pemanjangan yang lebih pendek. Kualitas cahaya lebih banyak ditentukan oleh rasio antara cahaya merah (R) dengan merah jauh (FR) dan iradiasi cahaya biru yang dalam hal ini juga mempengaruhi proses pemanjangan batang (Board, 2000). Pada saat cahaya matahari memasuki kawasan kanopi daun, bukan hanya

¹ Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian IPB, Bogor 16680, Telp/Fax (0251) 422414
(*Penulis untuk korespondensi)

² Departemen geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB, Bogor

kekuatan cahayanya berkurang, melainkan juga terjadi perubahan rasio R/FR. Pada keadaan terakhir cahaya merah (R) akan lebih banyak diserap dari pada merah jauh (FR). Cahaya R/FR bebas dan intensitas cahaya biru yang sangat rendah dengan nilai hanya 6.3 W m^{-2} atau $0.01 \text{ cal/cm}^2/\text{menit}$ sudah mampu merangsang proses pemanjangan batang pada tanaman kedelai (Wheeler *et al.*, 1991). Demikian juga dengan peningkatan kandungan CO_2 di udara akan sangat menentukan peningkatan hasil (Purcell *et al.*, 2002).

Kepekaan terhadap fotoperiodisitas pada tanaman kedelai sudah dimulai sejak tanaman berkecambah dan daun mulai menunjukkan respons ke arah sumber cahaya (Wang *et al.*, 1998). Proses suplai fotosintat untuk pematangan biji sangat dipengaruhi oleh tingkat iluminasi cahaya (Andrade *et al.*, 1999) atau perubahan kandungan karbondioksida (CO_2) di atmosfer (Mitchell *et al.*, 1996). Pemanjangan tanaman selama ini dikenal berpengaruh negatif dan akan semakin menekan hasil (Board, 2001). Penambahan cahaya akan dapat menentukan hasil pada saat fase pengisian polong setelah melewati fase pembungaan (Mathew *et al.*, 2000). Penambahan cahaya tanpa adanya penambahan fotoperiodisitas sebesar 25% mulai awal masa reproduktif dapat menaikkan produksi kedelai hingga 32 - 115 %, dan juga akan menambah jumlah polong per tanaman serta index biji bila penambahan cahaya dimulai pada akhir fase vegetatif. Penaungan kedelai pada taraf 20 - 49% menyebabkan pemanjangan internod dan kerebahan tanaman (Ephrath *et al.*, 1993).

Hal lain yang dapat menghambat pembentukan bunga pada tanaman kedelai adalah jumlah daun dewasa yang semakin besar. Pengaruh negatif terhadap pembungaan pada suatu fotoperiodisitas yang kontinu dapat dikurangi atau ditekan dengan jalan merompes seluruh daun dewasa, sehingga proses pembungaan dapat berlangsung (Cober and Curtis, 2003). Kontrol genetik terhadap penundaan pembungaan dan pematangan biji pada yang dipengaruhi berbagai tingkat penambahan fotoperiodisitas telah diidentifikasi (Cober and Voldeng, 2001). Selanjutnya dinyatakan bahwa masa pembungaan kedelai dapat lebih lama berlangsung dari keadaan normal dari selama 22 hari menjadi 83 hari. Hormon pengatur pembungaan (penghambat dan perangsang proses pembungaan) diproduksi di daun, daun yang sedang berkembang dan pada tunas-tunas batang. Batas kritis fotoperiodisitas tanaman kedelai yang pada dasarnya adalah tanaman hari pendek adalah 13.5 jam per hari (Cober *et al.*, 2003). Penambahan fotoperiodisitas hanya akan menunda masa pembungaan (Zhang *et al.*, 2001).

Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat stres produksi kedelai di lapang pada penambahan cahaya kontinu pada kondisi terbuka dan ternaungi. Kondisi ternaungi dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan tanaman tersebut terhadap pengurangan cahaya serta memperbaiki kemungkinan eks-

kelebihan cahaya apabila cahaya tersebut berlebihan. Percobaan juga dimaksudkan untuk memaparkan hasil secara ilmiah mengenai dugaan para petani setempat, bahwa kemungkinan terjadinya penurunan produksi kedelai diakibatkan sumber cahaya tersebut dan belum dapat ditentukan tingkat pengaruhnya hingga sejauh mana dari sumber cahaya tersebut.

BAHAN DAN METODE

Percobaan lapang dilakukan di kebun petani lokal di Kabupaten Tuban mulai Juli hingga November 2000. Selain pencahayaan sinar matahari, di desa tersebut terdapat penambahan sumber cahaya yang kontinu siang dan malam hasil pembakaran gas dari cerobong suatu perusahaan minyak dan gas bumi. Di sekitar cerobong dilakukan penanaman tanaman kedelai ke arah utara, selatan dan barat yang masing-masing merupakan ulangan dalam suatu rancangan kelompok. Petakan diatur dengan ukuran 10 m x 2.5 m dan disekat menjadi dua bagian. Satu bagian tidak dinaungi atau dibiarkan terbuka dan di bagian lain dinaungi dengan tingkat penaungan 56% dengan bilah bambu pada ketinggian 3m. Penaungan diperlakukan sejak tanam hingga panen. Letak petakan kedelai dirancang pada jarak 100, 140, 180, 220, 260, 300 dan 340 m dari titik sumber cahaya cerobong (SC). Tanaman kedelai varietas Bromo ditanam pada populasi 125 000 per ha dengan jarak tanam 20 cm x 40 cm.

Selama pertumbuhan tanaman kedelai dilakukan pemeliharaan dengan memberikan pupuk 30 kg N/ha, 75 kg P_2O_5 /ha dan 100 kg K_2O /ha. Untuk pencegahan hama dan penyakit diberikan insektisida Furadan 3G dan Azodrin 60 EC serta fungisida Anvil. Pengamatan harian curah hujan dilakukan dan penambahan air yang terkuantifikasi dilakukan saat kering selama percobaan.

Pengamatan terhadap tanaman kedelai meliputi komponen tinggi tanaman, indeks 100 butir biji serta produksi per hektar. Sepuluh tanaman contoh diambil per petak dan diamati mulai awal pertumbuhan hingga panen serta penghitungan potensi produksi per hektar. Komponen lingkungan pendukung yang diamati pada setiap petakan meliputi iradiasi dan iluminasi matahari dan cahaya tambahan SC yang diamati sebanyak 6 kali pada bulan Agustus dan Oktober 2000 setiap jam selama 24 jam sehari. Pengamatan dilakukan pada setiap petakan percobaan pada jarak 0 – 340 m dari titik SC pada ketinggian 1 m dari permukaan tanah pada tempat tanpa halangan dari titik SC. Pengukuran iluminasi dilakukan dengan alat luxmeter dengan sensor fotometrik dan solarimeter dengan sensor piranometrik. Suhu dan kelembaban udara harian serta kandungan CO_2 di udara pada setiap petakan percobaan diamati 2 minggu sekali pada ketinggian 30 cm dari permukaan tanah. Pengukuran CO_2 di udara dilakukan pada tanah di tempat terbuka dengan cara memompakan 50 liter

udara yang ditangkap dengan larutan NaOH dan BaCl₂ kemudian dititrasi dengan HCl. Sifat fisik dan kimia tanah pada kedalaman 0-20 cm dan 20-40 cm diamati hanya pada saat awal percobaan.

Dengan titik tolak pemikiran bahwa semakin jauh dari SC pengaruh penambahan cahaya kontinu semakin kecil dan mendekati nol, maka semakin jauh dari titik tersebut akan menghasilkan pola nilai parameter pengamatan yang menjadi semakin mendatar dan titik terjauh dapat dianggap sebagai titik kontrol tanpa ada penambahan cahaya kontinu. Uji berganda Duncan dengan program SAS 6.12 digunakan untuk menilai perbedaan nilai tengah hasil pengamatan dengan peluang kesalahan sebesar 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabilitas Udara Ambien dan Cahaya Petakan Percobaan

Kawasan studi merupakan kawasan beriklim kering dengan rata-rata curah hujan sebanyak 1600 mm/tahun. Selama masa percobaan mulai Agustus hingga November 2000 turun hujan sejumlah 430 mm yang terbagi dalam 22 hari hujan. Untuk mencukupi kebutuhan air tanaman maka tambahan penyiraman pada saat kering terutama saat awal pertumbuhan bulan Agustus dan September sebanyak 2.0 mm/hari pada 14 hari kering atau tambahan air sejumlah sebanyak 28 mm. Suhu udara rata-rata selama studi merentang antara 24 - 31°C, dimana pada jam 12.00 dapat mencapai 35°C. Kelembaban nisbi udara rata-rata mencapai 80% pada malam hari dan 63% pada siang hari. Pada jarak 100 – 180 m dari titik SC tampak terjadi peningkatan suhu udara rata-rata sebesar 2.14°C dibandingkan dengan titik kontrol sejauh 340 m dari titik SC (Tabel 1). Berlawanan dengan meningkatnya suhu, semakin dekat dengan titik SC tersebut, kelembaban udara nisbi mengalami penurunan sebesar 6.51% pada jarak yang sama dari titik SC (Tabel 1). Pada jarak 220 hingga 340 m dari titik SC tidak nampak adanya perbedaan kenaikan ataupun penurunan kedua parameter udara ambien tersebut sehingga pada jarak ini dari titik SC kondisi agroklimat sudah dapat dianggap normal tanpa adanya penambahan cahaya kontinu.

Lain halnya dengan kandungan kandungan CO₂ udara ambien di sekitar tanaman yang hanya dipengaruhi oleh titik SC. Pada jarak antara 180 – 340 m dari titik SC kandungan CO₂ udara ambien rata-rata sebesar 437 mg/m³. Pada jarak 100 m dari titik SC mengalami kenaikan rata-rata sebesar 178 mg/m³ menjadi 615 mg/m³. Nilai pengamatan individu per petakan mempunyai nilai kisaran antara 198 – 880 mg/m³ atau sebesar 112 – 490 ppm CO₂ (Tabel 1). Tingkat kandungan karbon dioksida udara ambien

sangat bervariasi dan diperkirakan terus meningkat hingga mencapai 550 ppm pada tahun 2050 dan menjadi 710 ppm tahun 2100 (Houghton *et al.*, 1996). Meningkatnya kandungan karbon dioksida udara dari 220 ppm menjadi 330 ppm mampu menaikkan berat kering dari 302 menjadi 617 g/m², tetapi kenaikan dari 280 ppm dengan berat kering 634 g/m² menjadi 380 ppm tidak meningkatkan berat kering tanaman (Allen and Boote, 2000). Selanjutnya dinyatakan bahwa laju pertukaran CO₂ tidak mengalami perbedaan pada kenaikan suhu hingga 7°C dari 28°C.

Walaupun terdapatnya penambahan cahaya kontinu, tingkat iradiasi dan iluminasi cahaya yang diukur pada siang hari pada jarak 100 – 340 m dari titik SC tidak signifikan. Namun bila penambahan cahaya yang diukur pada malam hari dimana penambahan cahaya ini bersifat terus menerus, maka penambahan iradiasi rata-rata harian pada jarak 100 m dari titik SC adalah sebesar 0.61 cal/cm²/menit dan pada jarak 140 m dari titik SC sebesar 0.03 cal/cm²/menit. Walaupun pada jarak 100 m dari titik SC, nilai penambahan tersebut lebih tinggi dari pada jarak lainnya yang lebih jauh, namun nilai tersebut tidak mengubah energi iradiasi rata-rata harian yang bernilai kurang lebih 0.77 cal/cm²/menit yang tergolong relatif tinggi. Nilai iradiasi maksimum yang dapat dicapai pada siang hari adalah sebesar 1.4 cal/cm²/menit pada jam 11.00. Sebagai pembandingan nilai energi matahari rata-rata harian yang dicapai di kota Bogor dapat mencapai 0.62 cal/cm²/menit dengan tingkat iluminasi rata-rata harian sebesar 16 klux (Sugiarto, 2004) serta di Cikampek, Jawa Barat mempunyai nilai iradiasi rata-rata harian sebesar 0.70 cal/cm²/menit (Santoso *et al.*, 2004).

Penambahan iluminasi cahaya matahari kontinu oleh titik SC yang diukur pada malam hari sebesar 59 lux pada jarak 100 m dan 17 lux pada jarak 140 m dari titik SC tidaklah menyebabkan penambahan tingkat iluminasi rata-rata harian yang memang bernilai sangat tinggi yakni 19.4 klux. Nilai iluminasi harian pada jarak 100 – 340 m dari titik SC pada siang hari tidak berbeda pada seluruh titik pengamatan. Namun nilai tambahan iluminasi bersifat terus-menerus dan batas-batas nilai cahaya iluminasi atau iradiasi yang dapat mempengaruhi proses pembungaan dan pembentukan polong pada tanaman kedelai masih belum diketahui dengan pasti. Hasil percobaan inipun belum dapat menguraikan dengan pasti, adanya pengaruh fotoperiodisitas tersebut hanya dipengaruhi oleh iluminasi, iradiasi atau pada kombinasi keduanya. Yang akan dapat diuraikan hanyalah pengaruh faktor cahaya keduanya secara bersamaan. Tingkat iradiasi dan iluminasi di tempat terbuka di petakan tanaman kedelai pada jarak 100 – 340 dari titik SC disampaikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tingkat iradiasi, iluminasi serta sifat udara ambien di tempat terbuka di petakan tanaman kedelai

Jarak dari SC (m)	Rata-rata iluminasi		Rata-rata iradiasi		Rata-rata kandungan CO ₂ (mg/m ³)	Peningkatan suhu rata-rata maks dari 32.64 °C	Penurunan kelembaban Udara rata-rata dari 57.24%
	Siang jam 06 - 18	Malam Jam 18 - 06	Siang jam 06 - 18	Malam Jam 18 - 06			
100	19 444	59 ^a	0.84	0.61 ^a	615 ^a	2.40 ^a	8.07 ^a
140	19 443	17 ^b	0.81	0.03 ^b	435 ^b	2.05 ^a	6.21 ^{ab}
180	19 390	2 ^c	0.79	0.01 ^b	408 ^b	1.98 ^a	5.26 ^{abc}
220	19 392	0 ^c	0.77	0.00 ^b	418 ^b	1.57 ^{ab}	3.36 ^{bcd}
260	19 401	0 ^c	0.77	0.00 ^b	459 ^b	1.08 ^{ab}	1.31 ^{cd}
300	19 398	0 ^c	0.77	0.00 ^b	462 ^b	0.83 ^{ab}	0.90 ^d
340	19 395	0 ^c	0.77	0.00 ^b	441 ^b	0.00 ^b	0.00 ^d

Keterangan : Indeks huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan perbandingan nilai yang tidak berbeda nyata

Sifat Fisik dan Kimia Tanah

Kondisi tanah setempat umum netral – alkalis dengan pH rata-rata 7.6 dengan kesuburan yang relatif mencukupi pada kondisi penambahan pupuk makro yang dilakukan selama masa percobaan (Tabel 2). Rentangan nilai kandungan C-organik pada setiap titik pengamatan adalah rendah 0.8 – 1.3%, N-total 0.09 - 0.17 %, fosfat 2 – 10 ppm, boron 96 – 110 ppm dan molibdenum 0.26 – 1.05 ppm. Tingginya pH menyebabkan fosfat tidak tersedia sepenuhnya, sehingga kandungan fosfat tergolong sangat rendah. Kandungan rata-rata basa K, Ca dan Mg rata-rata

menunjukkan nilai sebesar 40.6, 4.1 dan 0.4 me/100 g tanah dengan KTK yang bernilai tinggi sebesar 32.5 me/100 g tanah.

Lokasi percobaan merupakan kawasan yang sangat lembab pada musim hujan, sehingga petani melakukan penanaman padi sawah pada bulan November – April. Selanjutnya mulai April umumnya ditanam palawija dan bera selama 2-4 bulan dikarenakan rendahnya curah hujan dan kurangnya ketersediaan air untuk suplai tambahan. Sifat fisik tanah dengan kandungan liat rata-rata di atas 60% menyebabkan tanah menjadi berat untuk diolah dan tergolong sebagai tanah liat.

Tabel 2. Sifat fisik dan kimia tanah lokasi studi

Sifat fisik dan kimia tanah	Jarak dari SC (m)							Rataan
	100	140	180	220	260	300	340	
Sifat fisik								
Kerapatan (g/cc)	1.29	1.47	1.32	1.27	1.31	1.39	1.20	1.32 ^{tn}
Porositas (%)	51.32	44.53	51.38	50.57	50.57	47.36	53.59	49.90 ^{tn}
Tekstur liat (%)	62.10	62.55	61.71	57.94	60.67	61.32	61.64	61.13 ^{tn}
Debu (%)	31.01	29.63	28.96	39.99	28.11	25.73	31.26	30.67 ^{td}
Pasir (%)	6.89	7.82	9.33	2.07	11.22	12.95	7.10	8.20 ^{td}
pH H ₂ O	7.6	7.5	7.4	7.6	7.6	7.7	7.8	7.60 ^{tn}
Sifat kimia								
C-Org (%)	1.08	1.23	1.01	1.01	0.93	0.78	1.08	1.02 ^{tn}
N-Tot (%)	0.10	0.16	0.17	0.11	0.10	0.09	0.12	0.12 ^{tn}
P-Bray 1 (ppm)	8.2	4.6	7.3	3.9	4.8	4.9	6.5	5.7 ^{tn}
Ca (me/100 g tanah)	32.59	40.31	34.74	30.69	35.08	42.37	68.65	40.63 ^{tn}
Mg (me/100 g tanah)	5.25	4.47	3.77	4.30	3.82	2.86	4.03	4.07 ^{tn}
K (me/100 g tanah)	0.51	0.26	0.44	0.46	0.21	0.46	0.25	0.37 ^{tn}
KTK (me/100 g tanah)	29.65	27.99	40.35	34.12	31.29	28.55	35.68	32.52 ^{tn}
B (ppm)	83.25	70.99	121.14	78.18	115.78	96.77	114.21	97.19 ^{tn}
Mo (ppm)	0.64	1.05	0.84	0.62	0.26	0.63	6.45	1.50 ^{tn}

Keterangan : tn= nilai pada baris yang sama tidak berbeda nyata; td= nilai pada baris yang sama tidak dibandingkan

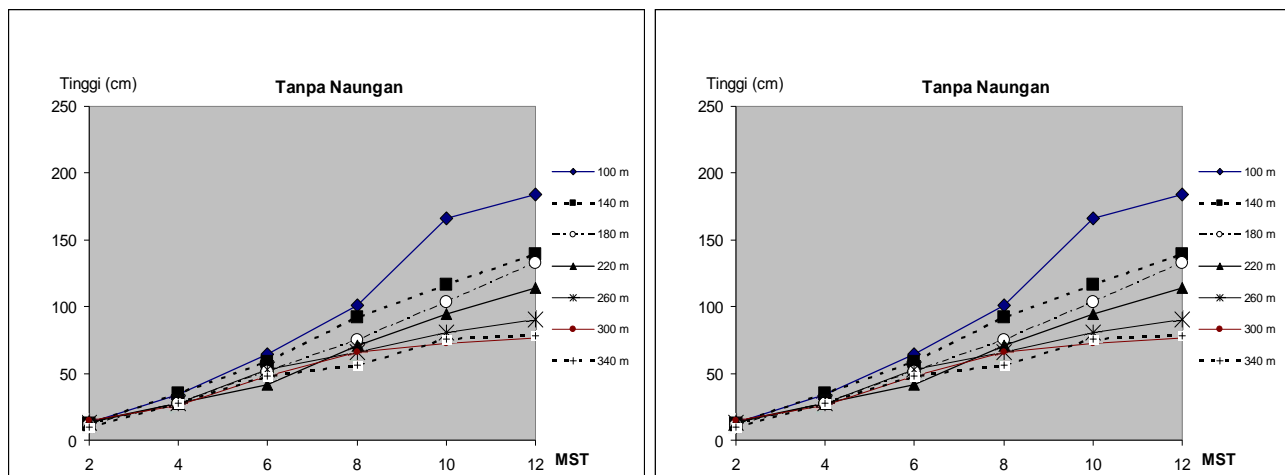
Pemanjangan Tanaman

Tanaman kedelai yang tumbuh dekat dengan SC dengan penambahan energi cahaya kontinu sebesar $0.61 \text{ cal/cm}^2/\text{menit}$ dengan nilai iluminasi sebesar 59 lux mampu mempunyai percepatan dan kecepatan tumbuh yang sangat kuat. Pada kondisi tanpa naungan ini tanaman mulai menunjukkan nilai pertumbuhan tinggi yang sangat cepat mulai minggu ke 4 hingga akhir percobaan pada 12 MST. Pada akhir percobaan tinggi tanaman mencapai 184 cm. Dibandingkan dengan kontrol yang hanya mencapai ketinggian 78 cm, maka tinggi tanaman ini mencapai 236%. Demikian juga pada tanaman dalam keadaan terbuka pada jarak 140 – 180 m dari titik SC mempunyai ketinggian akhir rata-rata 136 cm atau 174% dibandingkan dengan tinggi tanaman pada jarak terjauh dari titik SC. Penambahan tinggi tanaman dialami oleh tanaman hingga pada jarak 220 m dari titik SC dengan tinggi tanaman mencapai 114.20 cm. Sedangkan pada jarak 260 hingga 340 m tidak menghasilkan tinggi tanaman yang berbeda dengan nilai rata-rata sebesar 81.7 cm.

Kondisi ternaungi membuat tanaman kedelai tumbuh lebih memanjang dibandingkan dengan pada keadaan terbuka. Pada jarak 140 m dari titik SC tanaman kedelai pada keadaan ternaungi tampak semakin tinggi mencapai 192.4 cm dibandingkan

dengan keadaan terbuka yang hanya mencapai 139.6 cm. Demikian juga pada jarak 300 dan 340 m dari titik SC tanaman kedelai menjadi semakin memanjang oleh adanya penanangan menjadi 99.0 cm dari 77.37 cm pada keadaan terbuka. Hal ini menunjukkan bahwa pemberian naungan pada suatu penambahan cahaya kontinu di lapang tidaklah dapat memperbaiki keadaan pertumbuhan tanaman, membuat tanaman menjadi lebih tinggi. Tanaman yang tumbuh lebih dari 1 m tampak rebah dan tumbuh merayap yang tidak menguntungkan pada penanaman kedelai.

Hingga pada jarak 180 m dari titik SC yang mempunyai pengaruh terhadap pertumbuhan tinggi kedelai, cahaya yang diterima tanaman pada titik tersebut sangatlah kecil dengan nilai iradiasi sebesar $0.01 \text{ cal/cm}^2/\text{menit}$ dan nilai iluminasi cahaya sebesar 2 lux. Namun tampak bahwa nilai yang sangat kecil tersebut masih mampu membuat tanaman menjadi tumbuh lebih memanjang. Pada kondisi ini juga terjadi peningkatan suhu udara rata-rata sebesar 1.98°C dan penurunan kelembaban udara rata-rata sebesar 5.26%. Pertumbuhan tinggi tanaman kedelai akibat pencahayaan kontinu pada jarak 0 – 340 m dari titik SC pada keadaan terbuka dan ternaungi mulai dari 2 MST hingga 12 MST disampaikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pertumbuhan tinggi tanaman kedelai akibat penambahan pencahayaan kontinu pada jarak 0 – 340 m dari titik SC pada keadaan terbuka dan ternaungi

Indeterminasi Sekuensial Pembungaan serta Pembentukan Polong

Pada kondisi tidak ternaungi pada jarak 260 – 340 m dari titik SC tampak proses pembungaan dimulai pada 38 - 66 hari setelah tanam (HST), sehingga bunga yang baru selalu terbentuk sementara sebagian bunga yang lain membentuk polong atau bunga gagal membentuk polong, layu, mengering dan gugur. Proses terbentuknya bunga pada jarak 260 – 340 m dari titik SC ini berlangsung selama 0 - 28 hari setelah hari

pertama mulai muncul bunga (HSB) yang terjadi pada 38 HST. Satu hingga dua minggu kemudian diikuti dengan terbentuknya polong yang terus bertambah hingga akhir percobaan. Jumlah polong yang terbentuk mencapai 80 per tanaman, namun pada akhir percobaan sejumlah polong tersebut mengering dan jumlah polong per tanaman menjadi semakin kecil.

Pada jarak 100 m dari titik SC dengan penambahan energi cahaya kontinu sebesar $0.61 \text{ cal/cm}^2/\text{menit}$ dengan nilai iluminasi sebesar 59 lux, tanaman kedelai tidak mampu membentuk bunga hingga akhir

percobaan. Tanaman tampak hanya mengalami pertumbuhan vegetatif yang memanjang, merambat dan tidak tegak, sehingga tidak sebuah polongpun diketemukan atau dapat diamati dari perlakuan ini. Fotoperiodisitas sangat berperan dalam kasus ini, dimana tanaman hari pendek pada penambahan cahaya yang berlebih tidak mampu membentuk bunga dan tidak dapat menghasilkan biji. Energi cahaya yang ditambahkan secara kontinu adalah cahaya pembakaran gas dengan spectrum kontinu, sehingga mempunyai kemiripan dengan cahaya matahari, yang dalam hal ini mempunyai tambahan pancaran panas dan mempunyai pengaruh penurunan kelembaban relatif udara sekitarnya. Penambahan CO₂ memang diharapkan dapat menunjang proses fotosintesis namun tidak berkaitan dengan kasus fotoperiodisitas.

Pada jarak 140 m dari titik SC dengan penambahan energi cahaya kontinu sebesar 0.03 cal/cm²/menit dengan nilai iluminasi sebesar 17 lux, membuat tanaman masih mampu membentuk bunga dengan jumlah mencapai 63.6 per tanaman dibandingkan dengan pada tempat terjauh dari titik SC yang mencapai 80.2 bunga per tanaman. Namun dari jumlah tersebut hanya 43.2 saja yang dapat membentuk polong dan polong-polong tersebut kesemuanya tidak berkembang, tetap kecil, mengering dan gugur, sehingga tidak didapatkan satupun polong segar walaupun itu cipo (tidak bernas) pada akhir pengamatan. Seperti halnya pada jarak 100 m dari titik SC, tanaman pada jarak 140 m dari titik SC ini tidak dapat menghasilkan biji.

Hal lain yang cukup mengkhawatirkan adalah penundaan saat berbunga pertama serta lamanya waktu yang diperlukan dalam proses pembungaan. Hal ini berimplikasi pada pembentukan polong yang juga semakin lama dan sangat menekan keserempakan waktu pembentukan polong. Pada jarak 140 m dari titik SC ini pembentukan bunga pertama tertunda baru muncul setelah 18 hari setelah bunga pada kontrol muncul (18 HSB). Lama proses berbunga setelah bunga muncul hingga akhir percobaan berlangsung sedikitnya selama 44 hari serta tampak belum berhenti yang menunjukkan perkembangan bunga yang bersifat *indeterminate* dan percobaan dihentikan.

Pada jarak 180 m dari titik SC dimana penambahan cahaya yang sangat kecil hampir tak terdeteksi dengan dengan nilai iradiasi sebesar 0.01 cal/cm²/menit dan nilai iluminasi cahaya sebesar 2 lux, tanaman kedelai pada keadaan terbuka sudah mampu membentuk bunga yang akhirnya akan membentuk biji. Namun tetap dijumpai adanya bunga yang mengering, layu dan gugur demikian juga halnya yang terjadi pada polong. Jumlah bunga yang terbentuk adalah 63.6 per tanaman dan polong yang terbentuk berjumlah 42.8 per tanaman. Angka ini cukup menggembirakan, karena pengaruh negatif penambahan cahaya kontinu sudah semakin lemah pada jarak 180 m dari titik SC. Dari jumlah polong yang terbentuk hanya 42% yang bernas

dengan ukuran biji yang kurang berkembang dengan nilai indeks biji yang hanya mencapai 8.45 g/100 butir. Nilai indeks biji ini sangatlah kecil bila dibandingkan dengan keadaan kontrol pada titik terjauh dari SC yang mencapai 13.93 g/100 butir.

Ditinjau dari jumlah bunga yang terbentuk per tanaman, jarak aman penanaman kedelai dijumpai mulai pada jarak 260 m dari titik SC. Pada keadaan ini nilai pembentukan bunga kedelai tidak berbeda dengan pembentukan bunga pada jarak terjauh. Jumlah bunga yang terbentuk sebesar 73 bunga/tanaman tidak berbeda dengan yang dicapai pada jarak terjauh sebesar 80 bunga/tanaman. Pada jarak 220 m dari titik SC, dimana nilai penambahan cahaya kontinu dengan alat yang digunakan tidak terdeteksi baik iradiasi maupun iluminasinya, jumlah bunga yang terbentuk tidak berbeda dengan jumlah bunga yang terbentuk pada jarak 180 m dari titik SC. Hal ini menandakan sangat pekanya proses pembungaan kedelai, dimana tanaman kedelai mengalami stres dalam proses pembungaan, sehingga menekan pembentukan polong dan produksinya.

Dengan pemberian perlakuan naungan proses pembungaan sedikit terbantu sehingga pada jarak 100 m dari titik SC tanaman mengalami pembungaan dengan jumlah 15 bunga per tanaman. Namun pembentukan bunga tersebut sangat terlambat dan terjadi pada 46 HSB. Bunga tersebut bertambah menjadi 25 bunga/tanaman hingga 4 hari berikutnya dan kemudian tidak berkembang, mengering dan gugur pada 4 hari berikutnya. Pada pengamatan selanjutnya tidak didapatkan terbentuknya bunga pada tanaman hingga akhir percobaan. Hal ini menandakan adanya sedikit perbaikan stres pembungaan akibat penambahan pencahayaan kontinu oleh adanya penaungan. Perbaikan lainnya adalah adanya percepatan saat pembungaan awal. Pada kondisi tidak ternaungi pada jarak 140 m dari titik SC, pembungaan awal terjadi pada 18 HSB. Sedangkan pada kondisi ternaungi pembungaan awal terjadi pada 6 HSB. Sehingga saat awal berbunga lebih cepat 12 hari. Saat berbunga awal pada jarak yang lebih jauh dari titik SC tidaklah banyak membawa arti, karena saat bunga awal pada kondisi terbuka hanya lebih lambat 0-2 hari.

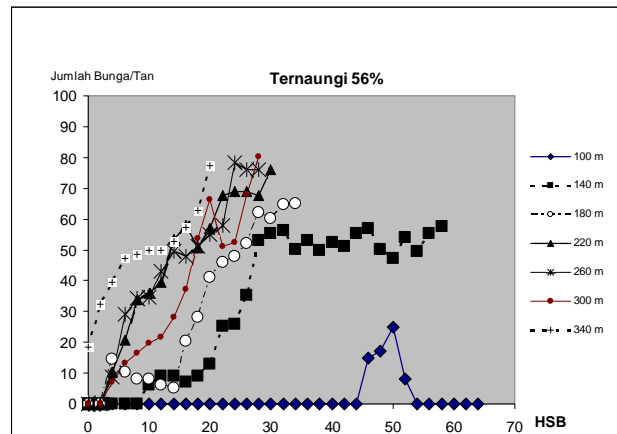
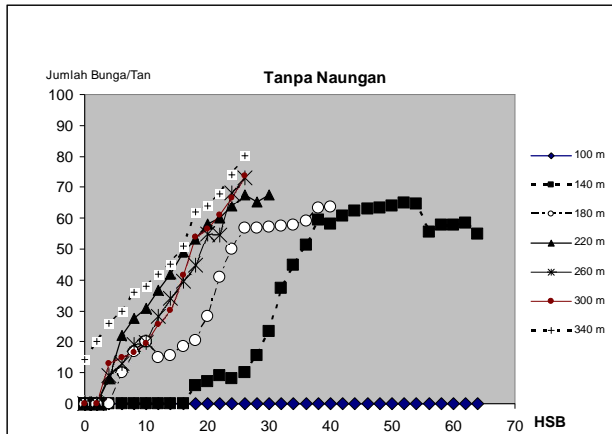
Lamanya fase pembungaan tidak dipengaruhi oleh adanya penaungan, dan hanya dipengaruhi oleh posisi jarak dari titik SC. Lama fase pembungaan pada jarak 140 m dari titik SC adalah 48 hari, pada jarak 180 m dari titik SC adalah 32 hari dan pada jarak 340 m dari titik SC hanya mencapai 28 hari. Demikian juga lama fase pembentukan polong juga tidak berbeda pada keseluruhan perlakuan dan mencapai 26 – 32 hari.

Sedangkan tingkat keberhasilan pembentukan polong diukur dari jumlah bunga yang terbentuk berkisar antara 70 – 90 % dengan nilai rata-rata 81% dan tidak dipengaruhi oleh jarak dari titik SC maupun oleh penaungan. Nilai tersebut tidak termasuk jarak

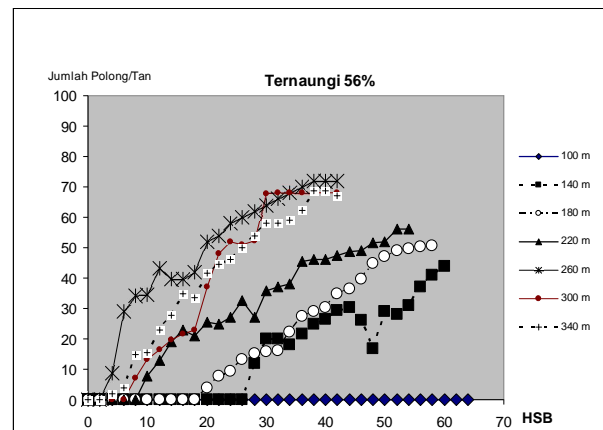
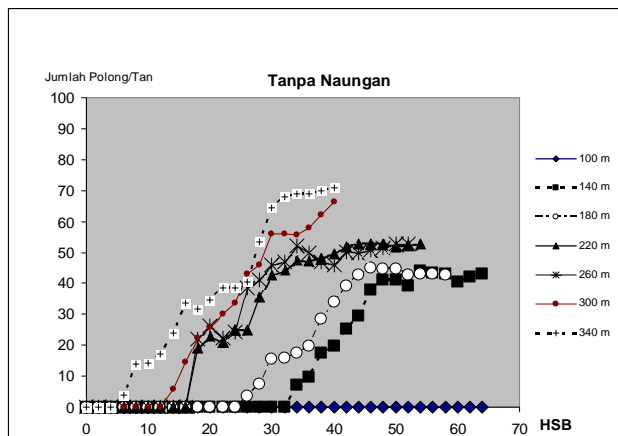
terdekat dari SC, yang mana tidak terjadi pembentukan polong.

Pertumbuhan jumlah bunga kedelai per tanaman, perkembangan jumlah polong, karakteristik polong serta

indeks biji disampaikan berturut-turut pada Gambar 2, Gambar 3 dan Tabel 3.



Gambar 2. Petumbuhan jumlah bunga kedelai per tanaman akibat pencahayaan kontinu pada jarak 0 – 340 m dari titik SC pada keadaan terbuka dan ternaungi



Gambar 3. Perkembangan jumlah polong kedelai per tanaman hingga maksimum akibat pencahayaan kontinu pada jarak 0 – 340 m dari titik SC pada keadaan terbuka dan ternaungi

Tabel 3. Pembentukan polong serta indeks biji kedelai akibat pencahayaan kontinu pada jarak 0 – 340 m dari titik SC pada keadaan terbuka dan ternaungi

Jarak dari titik SC (m)	Jumlah polong ₁		Jumlah polong ₂		Jumlah polong ₃		Indeks biji ¹	
	Tbk	Tn	Tbk	Tn	Tbk	Tn	Tbk	Tn
100	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0 ^a	0.0	0.0	0.00 ^a	0.00 ^a
140	43.2 ^b	34.0 ^b	0.0 ^a	0.0 ^a	43.2	34.0	0.00 ^a	0.00 ^a
180	42.8 ^b	50.8 ^c	18.2 ^b	17.0 ^b	24.6	33.8	8.45 ^b	9.45 ^b
220	52.6 ^c	56.0 ^c	33.3 ^c	37.4 ^c	19.3	18.6	13.09 ^c	11.41 ^{bc}
260	53.2 ^c	72.0 ^d	33.4 ^c	38.8 ^c	19.8	33.2	12.60 ^c	11.85 ^{bc}
300	66.0 ^d	68.0 ^d	33.1 ^c	36.9 ^c	32.9	31.1	14.24 ^c	12.95 ^c
340	67.4 ^d	67.2 ^d	32.7 ^c	37.5 ^c	34.7	29.7	13.93 ^c	13.08 ^c

Keterangan : (1) Indeks sama pada parameter yang sama tidak berbeda nyata, Tbk = pada keadaan terbuka, Tn = ternaungi 56%

(2) Nilai parameter tidak dibandingkan

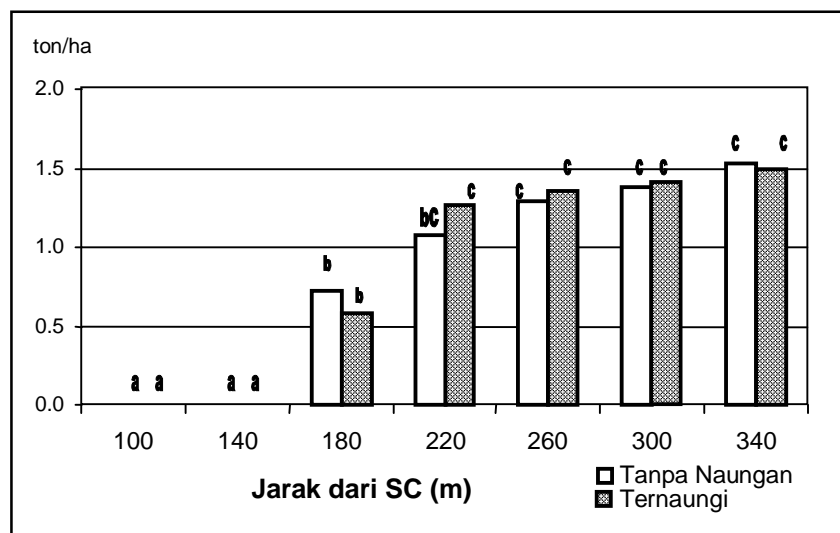
Kegagalan Produksi Biji

Pada jarak 100 – 140 m dari titik SC tanaman tidak mampu membentuk polong bernas dan tidak menghasilkan biji. Pada jarak 180 m dari titik SC pada keadaan terbuka hanya mampu memproduksi biji sebesar 0.72 ton/ha, yang mana pada jarak berikutnya 220 m dari titik SC hasil semakin membaik dan pada jarak terjauh 340 m dari titik SC hasil mencapai 1.53 ton/ha. Hasil mulai dari 260 – 340 m dari titik SC menunjukkan nilai yang tidak berbeda.

Pemberian pencahayaan yang mampu memperbaiki kondisi pembungaan dengan cara memperpendek masa pembungaan, namun tidak memperbaiki proses pembentukan polong dan juga pengisian biji. Hasil yang dicapai baik pada kondisi ternaungi maupun terbuka tidaklah berbeda. Hal ini juga menunjukkan

ketahanan yang mencukupi pada kedelai kultivar Bromo terhadap pencahayaan, yang mana pencahayaan 56% tidak mampu menekan produksi kedelai. Hal ini terjadi pada lokasi dilapang, dimana terjadi proses penambahan cahaya kontinu yang berpengaruh terhadap pembungaan dan pembentukan polong kedelai yang sensitif terhadap fotoperiodisitas.

Dampak negatif lainnya sehubungan dengan penambahan cahaya kontinu sebagai akibat dari pengunduran dan pemanjangan masa pembungaan adalah ketidakserempakan kematangan kedelai. Sehingga pada kasus tanaman yang dekat pada jarak 180 – 220 m dari titik SC, pemanenan harus dilakukan secara bertahap. Hal ini untuk mengantisipasi biji yang telah masak agar tidak segera mengering dan jatuh ke tanah.



Gambar 4. Produksi biji kedelai akibat pencahayaan kontinu pada jarak 0 – 340 m dari titik SC pada terbuka dan ternaungi

Keterangan: Indeks huruf yang sama menunjukkan perbandingan nilai yang tidak berbeda nyata

KESIMPULAN

1. Penambahan cahaya yang terus menerus (fotoperiodisitas 24 jam per hari) dengan nilai iradiasi sebesar 0.61 cal/cm²/menit dengan nilai iluminasi sebesar 59 lux selama pertumbuhan tanaman mampu melakukan penekanan terhadap proses pembungaan dan pembentukan polong, pengisian biji serta hasil biji kedelai varietas Bromo.
2. Pada penambahan cahaya kontinu sebesar 0.03 cal/cm²/menit dengan nilai iluminasi sebesar 17 lux, tanaman masih tertekan dengan tidak dapat menghasilkan biji, namun proses pembungaan dan pembentukan polong sudah terjadi. Pada kondisi ini, saat awal berbunga mengalami kemunduran selama 18 hari dan masa fase pembungaan menjadi lebih lama dan tanaman menjadi bersifat *indeterminate*.
3. Pada jarak 180 m dari titik SC pada keadaan terbuka hanya mampu memproduksi biji sebesar 0.72 ton/ha. Hasil pada jarak terjauh 340 m dari titik SC mencapai 1.53 ton/ha. Hasil biji mulai dari jarak 260 – 340 m dari titik SC menunjukkan nilai yang tidak berbeda.
4. Pemberian naungan pada tingkat 56% pada tanaman selama masa pertumbuhan tanaman hingga panen tidak mampu memperbaiki pengaruh negatif turunnya produksi akibat pencahayaan kontinu. Produksi kedelai juga tidak mengalami penurunan oleh perlakuan pencahayaan tersebut yang menandakan ketahanan yang memadai terhadap naungan pada lokasi dengan penambahan cahaya kontinu.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, L.H. Jr., K.J. Boote. 2000. Crop Ecosystem Responses to Climatic Change: Soybean. In K.R. Reddy and H.F. Hodges (eds). Climate Change and Global Crop Productivity. Cab Int. Publ. Wallingford.
- Andrade, F.H., C. Vega, S. Uhart, A. Cirilo, M. Cantarero, O. Valentinuz. 1999. Kernel number determination in maize. Crop Sci. 39:453–459.
- Board, J. 2000. Light interception efficiency and light quality affect yield compensation of soybean at low plant populations. Crop Sci. 40:1285-1294.
- Board, J. 2001. Reduced lodging for soybean in low plant population is related to light quality. Crop Sci. 41:379-384.
- Cober, E.R., D.W. Stewart, H.D. Voldeng. 2001. Photoperiod and temperature responses in early-maturing near-isogenic soybean lines. Crop Sci. 41:721–727.
- Cober, E.R., D.F. Curtis. 2003. Both promoters and inhibitors affected flowering time in grafted soybean flowering-time isolines. Crop Sci. 43:886-891.
- Cober, E.R., H.D. Voldeng. 2001. Low R:FR light quality delays flowering of *E7E7* soybean lines. Crop Sci. 41:1823-1826.
- Ephrath J.E., R.F. Wang, K. Terashima, J.D. Hesketh, M.G. Huck, J.W. Hummel. 1993. Shading effects on soybean and corn. Biotronics 22:15-24.
- Houghton, J.T., L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell. 1996. Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Mitchell, R.A.C., C.L. Gibbard, V.J. Mitchell, D.W. Lawlor. 1996. Effects of shading in different developmental phases on biomass and grain yield of winter wheat at ambient and elevated CO₂. Plant Cell Environ. 19:615–621.
- Mathew, J.P., S.J. Herbert, S. Zhang, A.A.F. Rautenkranz, G.V. Litchfield. 2000. Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment. Agron. J. 92:1156-1161.
- Purcell, L.C., R.A. Ball, J.D. Reaper, E.D. Vories. 2002. Radiation use efficiency and biomass production in soybean at different plant population densities. Crop Sci. 42:172-177.
- Santoso, M.B., W.Q. Mugnisyah, H. Agusta, H.A. Burhan. 2004. Efisiensi dan produktivitas pada tumpang sari jagung Manis (*Zea mays saccharata* Sturt) dan kacang hijau (*Vigna radiata* L.) dengan pengolahan tanah dan kerapatan yang berbeda. Forum Pascasarjana IPB 27:29-40.
- Singer, J.W. 2001. Soybean light interception and yield response to row spacing and biomass removal. Crop Sci. 41:424-429.
- Stewart, D.W., E.R. Cober, R.L. Bernard. 2003. Modeling genetic effects on the photothermal response of soybean phenological development. Agron. J. 95:65-70.
- Sugiarto, T.S.S. 2004. Daya hasil dan pertumbuhan empat genotipe ubi jalar (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) pada beberapa naungan tajuk kelapa sawit. Skripsi. Departemen Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Wang, Z., Q. Xu, B. Huang. 2004. Endogenous cytokinin levels and growth responses to extended photoperiods for creeping bentgrass under heat stress. Crop Sci. 44:209-213.
- Wang, Z., V.R. Reddy, M.C. Acock. 1998. Testing for early photoperiod insensitivity in soybean. Agron. J. 90:389-392.
- Wheeler, R.M., C.L. Mackowiak, J.C. Sager. 1991. Soybean stem growth under high-pressure sodium with supplemental blue lighting. Agron. J. 83:903–906.
- Zhang L., R. Wang, J.D. Hesketh. 2001. Effects of photoperiod on growth and development of soybean floral bud in different maturity. Agron. J. 93:944-948.